

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Tuotantopainotteinen konetekniikka

2013

Olli Saarnio

SEKUNDAARIOPTIIKAN MEKAANISTEN JA OPTISTEN MITTOJEN KORRELAATIO



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Olli Saarnio

SEKUNDAARIOPTIIKAN MEKAANISTEN JA OPTISTEN MITTOJEN KORRELAATIO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ledeissä käytettävien sekundaarioptiikoiden mekaanisten ja optisten mittojen korrelaatiota. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, minkälaisia mittavaihteluita pystytään sallimaan eri mitoille. Työn toimeksiantaja oli Ledil Oy, ja tutkimus toteutettiin vuoden 2012 syksyn ja kevään 2013 välisenä aikana. Tuloksista pyrittiin saamaan mahdollisimman kattavia toimeksiantajan tuotteisiin.

Opinnäytetyön alussa perehdytään toimeksiantajaan, ledioptiikoihin ja ledeihin, sekä selvitetään mekaanisten muutosten vaikutuksia optiikan optiseen suorituskyyyn valosimulaatio- ja 3D-mallinnusohjelmien avulla. Simulaatioissa käytetään avuksi optiikoiden 3D-malleja ja ledien sädetiedostoja. Simulaatiotulosten perusteella löydettiin optiikan mekaaniset mitat, jotka vaikuttivat eniten sen optiseen toimintaan. Tämän jälkeen optiikoita mitattiin mekaanisilla mittausrakenteilla, integroivalla pallolla ja goniofotometrillä. Mitatut tuotteet valittiin simulointien perusteella. Työssä käsiteltiin mittausrakenteiden toimintaperiaatteet, valintakriteerit ja tarkkuudet. Simuloiduista ja mitatuista tuloksista tehtiin taulukoita, joiden perusteella arvioitiin mekaanisten mittojen vaikutusta optisiin mittoihin. Mittaustuloksia ja simulaatiotuloksia verrattiin toisiinsa ja tutkittiin, vastaavatko ne toisiaan.

Työn tuloksena saatiin taulukoita, joista pystytään arvioimaan optiikan optisen suorituskyyyn muutosta, kun sen mekaaniset mitat muuttuvat. Taulukon avulla tuotannosta saaduilla mekaanisilla mittaustuloksilla voidaan arvioida tuotteen optisen suorituskyyyn muutosta ilman, että tehtaalta tarvitsee lähettää erikseen tuotteita valolaboratorioon mitattavaksi. Tulokset auttavat myös arvioimaan, mistä mekaanisesta mitasta voi johtua tietyn optisen suuren muutos.

ASIASANAT:

led, sekundaarioptiikka

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering | Mechanical Engineering

June 2013 | 35 + 4

Rabbe Storgårds

Olli Saarnio

CORRELATION OF MECHANICAL AND OPTICAL MEASURES ON SECONDARY OPTICS

The purpose of this thesis was study the correlation for mechanical and optical measures on secondary optics. The main goal was find out how much of measure variation can be allowed for different dimensions. The commissioner was Ledil Oy, and the project was implemented during 2012 autumn and 2013 spring. The research aimed at finding results for Ledil Oy products as widely as possible.

The beginning focuses on the client, led optics and leds. The theory explains mechanical changes' effects to the optical performance with optical simulation and 3D-modelling software. Optical simulations were assisted by optic 3D-models and led RAY-files. The most effective mechanical dimensions were found out with optical simulations. After that, optics was measured by mechanical measuring devices, integrating sphere and goniofotometer. The measured products were chosen on the basis of the simulated results. This work also includes a look over measurement devices principles, selection criterion and accuracy. Simulated and measured results were added to Excel spreadsheet which can assess mechanical dimensions' effects to the optical performance. Measured and simulated results were compared and researched how results correspond to each other.

Results give tables which indicate how much optical performance change when mechanical dimension changes. Results tables can help in evaluating optical performance change with mechanical measurement results without separate optical measurements in light laboratory.

KEYWORDS:

led, secondary optic

SISÄLTÖ

LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	7
1.1 Tutkimuksen tarkoitus ja tavoitteet	7
1.2 Tutkimuksen rakenne	7
1.3 Toimeksiantaja	8
2 LED JA OPTIIKKA	9
2.1 Ledin toimintaperiaate ja tutkimuksessa käytetyt ledit	9
2.2 Ledeissä käytettävä optiikka	10
3 ONGELMAN MÄÄRITYS	13
4 TUOTTEIDEN SIMULOINTI	14
4.1 Simuloidavien tuotteiden määrittäminen	14
4.2 Optisen suorituskyvyn simulointi	16
5 TUOTTEIDEN MITTAUS	17
5.1 Optiset mittaukset	17
5.1.1 Mittalaitteet	17
5.1.2 Kokonaisvalovirran mittaus	19
5.1.3 Valokuvion mittaus	20
5.2 Mekaniikan mittaus	21
5.2.1 Mittauslaitteet	21
5.2.2 Geometriamittojen mittauksessa käytetyt mittalaitteet	22
5.3 Mittaukseen valitut tuotteet ja niiden mittaus	22
5.4 Mittavirheet	24
6 TULOKSET	25
6.1 Simulointitulokset	25
6.2 Mittaustulokset	27
7 TULOSTEN ANALYSOINTI	29
7.1 Mittaustulosten yhteenveto	29
7.2 Mittaustulokset verrattuna simulaatiotuloksiin	30

8 TUTKIMUKSEN YHTEENVETO	32
---------------------------------	-----------

LÄHTEET	34
----------------	-----------

LIITTEET

Liite 1. TIR-linssien geometriamuutosten simulointitulokset.

Liite 2. TIR-linssien päällyspintojen simulointitulokset.

Liite 3. Heijastajien geometriamuutosten simulointitulokset.

KUVAT

Kuva 1. Valon käyttäytyminen.	10
Kuva 2. Valon kokonaisheijastuminen.	11
Kuva 3. Simuloimalla tutkittavat heijastajan mitat.	15
Kuva 4. Integroiva pallo.	17
Kuva 5. Valonvoimakkuuden mitta.	18
Kuva 6. Koordinaattimittauslaite.	21
Kuva 7. Linseistä mitatut mekaaniset mitat.	23
Kuva 8. Ledin sijainti suhteessa linssiin.	25
Kuva 9. Halkeama linssissä 5.	29

TAULUKOT

Taulukko 1. Simuloimalla tutkittavat geometriamitat TIR-linsseistä.	14
Taulukko 2. Simuloinneissa käytetyt linssit ja ledit.	25
Taulukko 3. Simuloidut päällyspinnat	27
Taulukko 4. Mitatut linssit ja geometriamittojen mittaustulokset.	28
Taulukko 5. Optistenmittojen mittaustulokset.	28
Taulukko 6. Optisensuorituskyvyn ero vertailulinssin ja näytelinssin välillä prosentteina.	30

LYHENTEET

lm	lumen on SI-järjestelmän mukainen yksikkö valovirralla
TIR	sisäinen kokonaisheijastus; Total Internal Reflection
cd	kandela on SI-järjestelmän mukainen valovoiman yksikkö
PC	polykarbonaattimuovi
PMMA	akryylimuovi
COB	teknologia, jossa ledisiruja on liitetty yhteen yhdeksi valonlähteeksi; Chips on Board
LED	valoa säteilevä puolijohdekomponentti; Light-Emitting Diode
FWHM	kulma, jossa valon intensiteetti on puolet maksimiarvosta; kulmaan lasketaan valokuvion yhden poikkileikkauksen molemmat puolet; Full width at half maximum

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tarkoitus ja tavoitteet

Tuotteiden valmistusprosessissa oli huomattu syntyvän valmistettavaan tuotteeseen mittaeroja verrattuna suunniteltuihin mittoihin. Ongelmana oli optiikan suorituskyvyn muuttuminen suunnitellusta mittavirheiden takia.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, miten paljon mekaaniset mittamuutokset sekundaarioptiikoissa vaikuttavat optiikan optiseen toimintaan. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, minkälaisia mittavaihteluita pystytään sallimaan eri mittoille. Tutkimuksessa keskityttiin eniten optiikan simulointiin, mittaamiseen ja tulosten analysointiin. Tutkimus toteutettiin syksyn 2012 ja kevään 2013 välisenä aikana.

1.2 Tutkimuksen rakenne

Tutkimuksen alussa valittiin simuloitavien tuotteiden laajuus. Näistä tuotteista tehtiin valosimulaatioita Zemax-ohjelmalla. Simulaatiotuloksista tehtiin taulukoitaita, joista näkyy mekaanisten muutosten vaikutus optisiin mittoihin. Simulaatiotulosten perusteella valittiin mitattavat tuotteet. Mitattavat tuotteet mitattiin valolaboratoriossa, ja tuloksia verrattiin simuloituihin tuloksiin. Näistä tuloksista tehtiin yhteenveto, ja todettiin, miten hyvin tulokset vastasivat toisiaan.

Opinnäytetyön alussa perehdyttiin ledeihin ja sekundaarioptiikoihin. Seuraavassa luvussa määriteltiin ongelma ja rajattiin se. Sen jälkeen käsiteltiin optiikan mittausta ja simulointia. Sitten analysoitiin mittaus- ja simulointitulokset. Lopuksi yhteenvetokappaleessa keskityttiin tutkimukseen liittyviin tärkeimpiin havaintoihin.

1.3 Toimeksiantaja

Ledil Oy oli tämän opinnäytetyön toimeksiantaja. Kyseinen yritys suunnittelee ja myy ledeihin optiikkatuotteita. Ledil Oy:n perustivat Saloon insinöörit Hannu Hukkanen ja Tomi Kuntze vuonna 2002. Nykyään yritys on maailman johtava alallaan. [7], [20]

Työntekijöitä yrityksessä on yli 60 henkilöä, ja noin puolet niistä on insinöörejä. Tuotanto on alihankintana Kiinassa ja Euroopassa. Ledil Oy:llä on kansainvälinen myyntitiimi, ja maailmanlaajuinen myynti tehdään suoramyyntin ja jakelijoiden kautta. Yrityksen liikevaihto on yli 15 miljoonaa, ja suurin osa tuotteiden myynnistä menee ulkomaille. Ledil Oy on myös voittanut monia palkintoja ja viimeisin niistä onkin Varsinais-Suomen vuoden 2012 vientipalkinto. [7], [20]

Ledil Oy:n tuotteet on valmistettu ruiskupuristamalla, joka mahdollistaa korkean optisen laadun, suorituskyvyn, eliniän ja toiminnallisuuden. Tuotteet on yleensä valmistettu PC- tai PMMA-materiaaleista. Standardituotteita yrityksellä on yli 1000 kappaletta. Ledil Oy myös suunnittelee ja toimittaa optiikkatuotteita asiakkaiden vaatimusten mukaan. Ledil Oy:ltä löytyy optiikkatuotteita yli sadalle erilaiselle ledille. Yritys onkin yhteydessä suurimpiin led-valmistajiin, jotta tuotteita voidaan julkaista uusimpien ledien kanssa. Yrityksellä on myös kolme valolaboratoriota, joissa tuotteita testataan. Ledil Oy:n optiikkatuotteita voidaan käyttää esimerkiksi katuvalaistukseen, sisä- ja yleisvalaistukseen, arkkitehtuurivalaistukseen, tehdasvalaistukseen, liiketilojen valaistukseen, toimistovalaisuksiin, julkistilojen valaistukseen ja turvavalaisuksiin. [7], [19], [21]

2 LED JA OPTIIKKA

2.1 Ledin toimintaperiaate ja tutkimuksessa käytetyt ledit

Ledin toiminta perustuu puolijohteeseen. Se ei sisällä liikkuvia osia, ja virtalähteenä ledi käyttää tasavirtalähdettä. Virran määrä on yleisesti 20 mA ja 1 A välillä. Valo syntyy ledissä, kun ledin katodilta anodille kulkeva virta kuljettaa elektroneja ja elektroniaukkoja. Ledisirun liitoskohdassa elektronit ja elektroniaukot yhdistyvät. Tämän seurauksena elektroni siirtyy alemmalle energiatasolle, josta vapautuu energiaa. Tämä energia muuttuu valoksi ja lämmöksi. [8]

Ledityyppejä on monenlaisia, mutta tässä työssä keskitytään valkoisiin pintaliitosteholedeihin ja COB-tyyppisiin ledeihin. COB (Chips on Board) on teknologia, jossa ledisiruja on liitetty yhteen yhdeksi valonlähteeksi. Valaistuna se näyttää valopaneelilta. [9] Valkoisen pintaliitosteholedisirun koko on yleensä noin 1 mm^2 . [8]

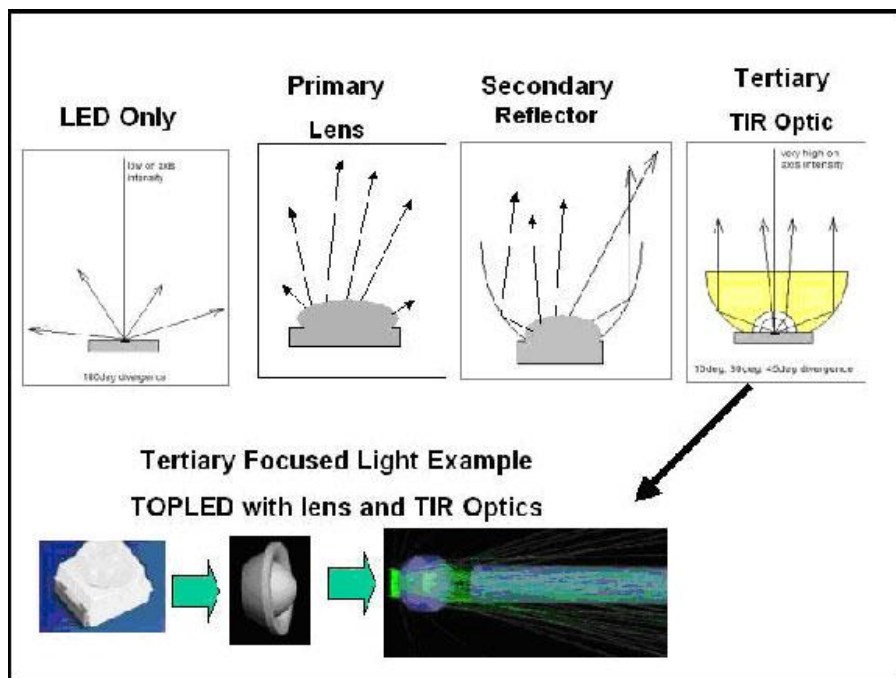
Kylmänvalkoisista ledituotteista valoa saadaan noin 140 lm/W. Kyseisessä valotehokkuudessa ei ole otettu huomioon virtalähteen häviöitä. Maksimi valoteho, johon kylmänvalkoisella ledillä voidaan päästä, on noin 200 lm/W. Ledi syttyy välittömästi, ja tuottaa valoa välittömästi. Valon määrää voidaan myös säätää. Valkoisen ledin maksimi käyttöikä on yleensä noin 50 000 tuntia, mutta liiallinen lämpö lyhentää käyttöikää. [8], [10]

Ledeissä on monia ominaisuuksia, jotka vaikuttavat niiden kanssa käytettävien sekundaarioptiikoiden toimintaan. Näitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi koko, valon väritasaisuus, ledisirujen määrä, valokuvio ja aallonpituus.

Tutkimuksessa käytettyjen ledien sijainti piirilevyllä mitattiin videomikroskoopilla. Jokainen ledi oli $\pm 0.1\text{ mm}$:n tarkkuudella juotoskohdassaan. Ledeinä käytettiin COB- ja pintaliitosledejä. Ledien valintaan vaikuttivat niiden saatavuus ja yhteensopivuus tutkittavan optiikan kanssa. Optiset mittaukset tehtiin 250 mA:n virralla, koska se on todettu hyväksi valomittauksissa. 250 mA:n virralla ledin lämpötila pysyy matalana ja sen valoteho pysyy vakaana.

2.2 Ledeissä käytettävä optiikka

Ledeissä optiikkaa käytetään mahdollistamaan niiden käyttämisen monissa sovelluksissa. Optiikkaa hyödynnetään valonlähteestä tulevan valon ohjaamiseen. Ledistä lähtevä valo on suunnattua, ja optiikalla voidaan keskittää valo halutusti. Jokaisella ledillä on tietty avautumiskulma. Avautumiskulmaan vaikuttaa ledin fyysinen konstruktio ja optiikan tyyppi. Primäärioptiikka on yleensä kiinnitetty lediin, ja sekundaarioptiikka mahdollistaa erilaisia valonjakokulmia ja valokuvioita. Sekundaarioptiikkaa voi käyttää tiettyyn sovellutukseen tarvittavien valokuvioiden mahdollistamiseen. Sekundaarioptiikka on yleensä kiinnitetty pidikkeeseen. Tämän jälkeen se on aseteltu ja asennettu ledipaketin päälle. Kuvassa 1 on esitetty valon käyttäytyminen ilman optiikkaa ja optiikan kanssa. [1]



Kuva 1. Valon käyttäytyminen. [1]

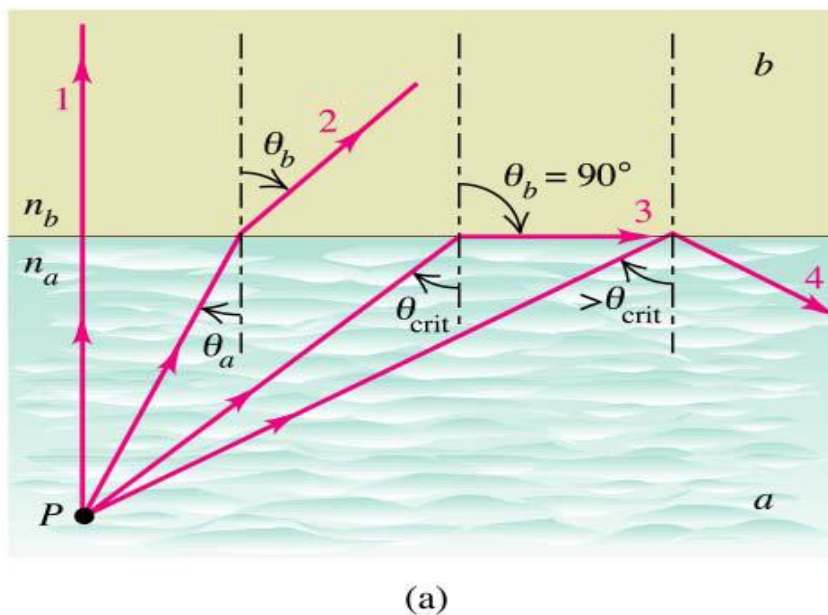
TIR-optiikka

TIR lyhenne tulee sanoista Total Internal Reflection, joka tarkoittaa sisäistä kokonaisheijastusta. Kokonaisheijastuksessa valonsäteet kulkevat toista väliainet-

ta optisesti tiheämmässä materiaalissa. Valon osuessa optisesti tiheämmän ja optisesti vähemmän tiheän materiaalin rajapintaan, se heijastuu kokonaan, mikäli kriittinen kulma ei ylity. Optisesti vähemmän tiheään materiaaliin ei taitu lainkaan valoa. Seuraavalla kaavalla voidaan laskea materiaalien rajapinnassa oleva kriittinen kulma. [14]

$$\sin \theta_{\text{crit}} = \frac{n_b}{n_a}$$

Kaavassa n_a on optisesti tiheämmän materiaalin taitekerroin, josta valosäde lähtee, ja n_b on toisen optisesti vähemmän tiheän materiaalin taitekerroin. Kokonaisheijastuksen kriittinen kulma on θ_{crit} . Kyseisellä kaavalla laskettuna lasin ja ilman rajapinnassa kriittinen kulma on 41.1 astetta, kun valo tulee lasin sisältä. Kuvassa 2 näkyy valon taittuminen eri kulmilla materiaalien rajapinnasta. [14]



Kuva 2. Valon kokonaisheijastuminen. [14]

Tyypillisimmät Ledil Oy:n tuotteet ovat kartionmalliset linssit ja niiden suunnittelu perustuu kokonaisheijastumiseen. Yleensä ne ovat lähes pyörähdys-symmetrisiä, ja antavat symmetrisen valokuvion. [15]

Heijastajat

Heijastajan toiminta perustuu yksinkertaisesti valon heijastumiseen. Yksi tärkeä kriteeri heijastajan toimivuudelle on heijastajan optinen hyötysuhde. Optiseen hyötysuhteeseen vaikuttaa heijastavan pinnanlaatu. Osa valosta heijastuu, osa absorboituu ja osa pääsee pinnan läpi. [23]

Heijastajia on käytetty optisina elementteinä jo pitkään, ja niitä on helppo valmistaa. Yhteinen nimittäjä kaikille heijastajille on ollut suhteellisen laaja valon avautumiskulma. Suuri osa valolähteestä tulevasta valosta ei osu heijastajaan lainkaan vaan tulee suoraan ulos suoraan valaisimesta. Tämän takia kapeita valokuvioita haluttaessa keskellä olevan kirkkaan alueen ympärille tulee suhteellisen paljon hajavaloa. Valon jakautumiskulma voidaan kuitenkin saada kapeammaksi korottamalla heijastajan korkeutta, jotta valonlähteestä tulevasta valosta suurempi osa osuu heijastajaan. [22]

3 ONGELMAN MÄÄRITYS

Sekundaarioptiikan valmistusprosessissa on huomattu syntyvän valmistettavaan tuotteeseen mittaeroja verrattuna suunniteltuihin mittoihin. Ongelmana on optiikan suorituskyvyn muuttuminen suunnitellusta mekaanisten mittavirheiden takia. Tuotteet joudutaan lähettämään valolaboratorioon mitattavaksi, jotta saadaan tietää tuotteessa tapahtunut optisen suorituskyvyn muutos, kun optiikan mekaaninen mitta on muuttunut tuotannossa.

Optiikan optisen suorituskyvyn muutoksen suuruutta suhteessa mekaniikan muutoksiin ei ole tutkittu. Käytössä on yleistoleransseja mitoille, mutta mekaanisten muutosten vaikutusta optiikan toimintaan halutaan tarkemmin tarkastella. Kaikki mitat eivät välttämättä vaikuta optiikan suorituskykyyn yhtä paljoa ja tuotteiden välillä voi olla eroja. Oletettavasti optiseen suorituskykyyn eniten vaikuttavat tekijät ovat optiikan geometria, ledin asettelu piirilevyllä ja optiikan paikoitus suhteessa lediin. Ongelmana on myös tuotteiden määrä, koska tuotteita on satoja erilaisia.

Vaikutustekijöistä minimoidaan ledien asettelu, linssin paikoitus ja ledin mitat mahdollisimman hyvin. Nämä vaikutustekijät mitataan tarkasti mikroskoopilla, ja valitaan käytettäväksi vain tarkasti paikallaan olevat tuotteet. Tällöin ainoaksi vaikutustekijäksi jää optiikka.

4 TUOTTEIDEN SIMULOINTI

4.1 Simuloitavien tuotteiden määrittäminen

Ledil Oy valmistaa kahdenlaisia sekundaarioptiikoita; heijastajia ja linsskejä. Sekundaarioptiikat voidaan myös jakaa optisien ominaisuuksien mukaan epäsymmetrisiin ja symmetrisiin. Symmetrisien tuotteiden geometriamitat ovat yleisesti lähes pyöreitä, kun taas epäsymmetrisien tuotteiden minkä tahansa muotoisia. Epäsymmetrisien tuotteiden geometriat ovat usein hyvin monimutkaisia, ja eroavat yleensä toisistaan hyvin paljon. Tämän takia tässä työssä keskitytään vain symmetrisiin tuotteisiin.

Simuloitavat TIR-linssit

TIR-linssien optisiin ominaisuuksiin vaikuttaa monet tekijät. Tähän tutkimukseen kuitenkin otimme tärkeimmät geometriamitat, jotka ovat myös helposti mitattavissa. Simulointiin valittiin erikokoisia linsskejä, ja tutkittiin niistä optiseen suorituskyykyyn vaikuttavia mittoja. Taulukossa 1 on esitetty valittujen tuotteiden kriteerit ja niistä valitut geometriamitat.

Taulukko 1. Simuloimalla tutkittavat geometriamitat TIR-linsseistä.

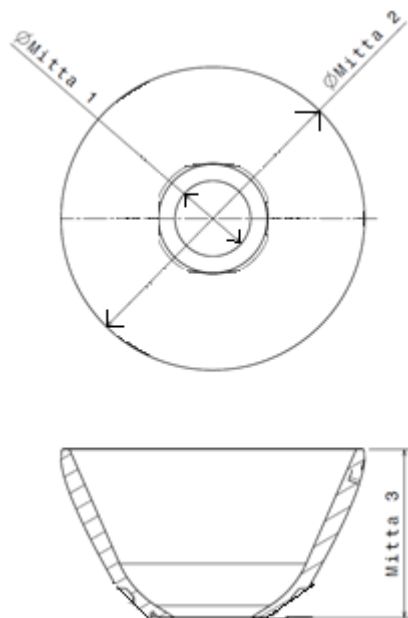
TIR-linssit
Tutkittavat tuotteet
Koko
Iso
Keskikokoinen
Pieni
Tuotteista simuloitavat mitat
Mitta 1.
Mitta 2.
Mitta 3.
Mitta 4.
Mitta 5.
Mitta 6.
Mitta 7.

Ledil Oy:n linseissä käytetään erilaisia päällyspintoja. Päällyspinnat muuttavat optiikan toimintaa. Simuloimalla halutaan myös tietää, miten eri päällyspinnoilla olevien linssien toiminta muuttuu, kun linssin mitta 1 muuttuu. Simuloinneissa käytettiin neljää eri päällyspintaa.

Simuloitavat heijastajat

Ledil Oy valmistaa kahdenlaisia heijastajia: valkoisia ja metalloituja. Metalloituja heijastajia ovat suurin osa heijastajista, joten valitsimme tähän tutkimukseen vain metalloidut heijastajat. Tämä vähensi tutkittavien tuotteiden määrää, mutta tulokset ovat silti suurimpaan osaan heijastajia sopivia.

Simulointiin valittiin kaksi erikokoista heijastajaa. Heijastajissa ei ole monta geometriamittaa, jotka voidaan mitata helposti ja tarkasti. Kuvassa 3 olevat heijastajan mitat 1–3 ovat helposti mitattavissa, joten simuloinneissa keskityttiin niihin. Heijastajan paikoitusta suhteessa lediin horisontaalitasossa tutkittiin kuvan 3 mittojen lisäksi.



Kuva 3. Simuloimalla tutkittavat heijastajan mitat.

Heijastajat on valmistettu muovista, joka on metalloitu alumiinilla. Metalloinnin laatu vaikuttaa heijastajan toimintaan. Simuloimalla ei pystytä kuitenkaan metalloinnin laatua jäljittelemään.

4.2 Optisen suorituskvyn simulointi

Tässä tutkimuksessa pyrittiin simuloinnin avulla selvittämään optiikan optinen suorituskvyy mahdollisimman realistisesti. Simuloinnin avulla pyritään tutkimaan valokuvion käyttäytymistä ja optiikkaan jäävän valon määrää eli hyötysuhdetta. Simulointiin on monia ohjelmia, mutta tässä tutkimuksessa käytetään Zemax-ohjelmaa. Zemax-ohjelmalla pystyy mallintamaan, analysoimaan ja avustamaan optiikkajärjestelmien suunnittelua. [6]

Optiikan optisen suorituskvyn simuloinnin tekemiseen tarvitaan simulointiohjelman lisäksi sädetiedosto valolähteestä ja optiikan 3D-malli. Valolähteenä käytetään ledin sädetiedostoa. Sädetiedostoja on saatavilla monien led-valmistajien internetsivuilla. 3D-malleina käytetään Ledil Oy:n tuotteiden malleja.

Simuloinnissa ledin sädetiedosto asetetaan valonlähteeksi ja sen päälle asetetaan sekundaarioptiikkamalli. Tämän jälkeen asetetaan virtuaalinen ilmaisin linssin eteen, joka mittaa linssistä ulos tulevien säteiden määrän ja missä kulmassa säde osuu ilmaisimeen. Ilmaisimesta voidaan generoida linssistä ulos tullut valokuvio ja valon määrä kaukokentässä.

Tutkimuksessa simuloitiin kappaleessa 4.1 valitut sekundaarioptiikat. Sekundaarioptiikoiden mittoja muutettiin 3D-mallinnusohjelmalla ja tutkittiin, miten muutokset vaikuttivat valokuvioon ja optiikasta ulostulevaan valoon. Tutkittaviksi optisiksi mittoiksi valittiin yleisesti käytettyjä optiikan toimintaa kuvaavia arvoja: valon intensiteetin maksimiarvo, FWHM (Full width at half maximum), kokonaiskulma, jossa valoa on 10 % maksimista ja optinen hyötysuhde.

5 TUOTTEIDEN MITTAUS

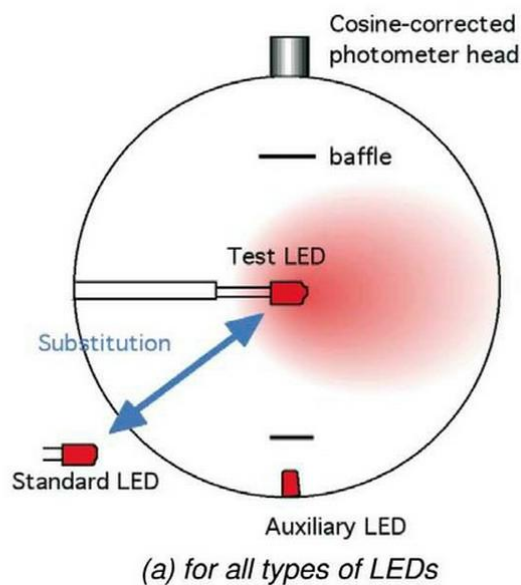
5.1 Optiset mittaukset

5.1.1 Mittalaitteet

Integroiva pallo

Integroiva pallo mittaa kokonaisvalovirtaa, jonka yksikkö on lumen. Tämä on luultavasti kaikkein tärkein määre valaistussovelluksissa. [3] Kuvassa 4 on ideaali tilanne kokonaisvalovirran mittaamiseen integroivalla pallolla.

Ideaalin integroivanpallon sisäpinta heijastaa valoa tasaisesti kaikilla aallonpituuksilla. Pallon sisälle asetetun valonlähteen valo heijastelee seinistä, niin että kaikki valo tasoittuu pallon seinille tasaisesti. Valaistusvoimakkuus on pallon seinissä joka kohdassa sama, joten anturin pieneltä alueelta mittaama valomäärä voidaan suhteuttaa kokonaispinta-alaan ja laskea kokonaisvalovirta. [4]

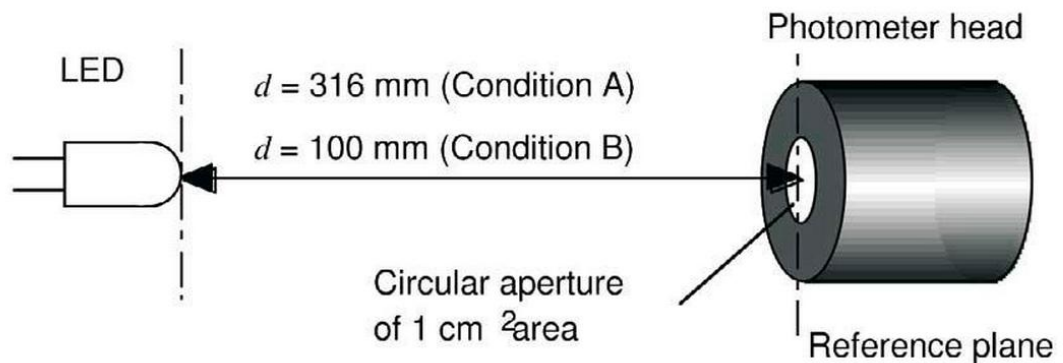


Kuva 4. Integroiva pallo. [3]

Goniofotometri

Goniofotometrin periaatteena on mitata valonlähteen koko valokuvio. Mittaus-tiedosta voidaan myös laskea tarkka kokonaisvalovirta. Tämän saavuttamiseksi mitataan useita erillisiä mittauspisteitä. Valonlähteen ympärille kuvitellaan pallo, josta mittauspisteet mitataan. Mittauspisteiden avulla voidaan hyvin tarkasti arvioida valokuvio. [5]

Mittauspisteiden resoluutio vaikuttaa siihen, miten tarkasti mitattu valokuvio vastaa todellista valonlähteen valojakaumaa. Tämän seurauksena mittauspisteiden määrä vaikuttaa kriittisesti mittauksen tarkkuuteen. Kuvassa 5 näkyy valonmittausanturi ja mitattava valonlähde. Mittauspisteiden mittaamiseen käytetään yleensä 2-akselista goniometriä. Valonlähdettä pyöritetään yhdellä akselilla ± 180 astetta ja käännetään ± 90 astetta toisella akselilla. [5]



Kuva 5. Valonvoimakkuuden mittaaminen.[3]

5.1.2 Kokonaisvalovirran mittaus

Kokonaisvalovirran mittaukseen käytettiin integroivaa palloa, jonka halkaisija on 500 mm. Palloon on liitetty valovirtaa mittaava anturi, joka lähettää mittasignaalin mittalaitteelle. Mittalaite muuttaa mittasignaalin valovirta-arvoksi, joka näkyy laitteen näytöltä. Integroivanpallon sisäpinta on pinnoitettu bariumsulfaatilla, jonka heijastuskyky on 550 nm aallonpituudella ~ 97 %. [11] Pallon sisälle jäävän valohäviön takia palloon on liitetty vakiovalovirtalähde, jonka tarkan valovirran valmistaja on mitannut.

Jokaisen mittauksen alussa mitataan vakiovalovirtalähteen valovirta, ja verrataan sitä valmistajalta saatuun valovirta-arvoon. Näiden valovirta-arvojen erosta nähdään, miten paljon integroivalla pallolla mitatulla valovirta-arvolla ja oikealla valovirta-arvolla on eroa. Nämä arvot jaetaan keskenään ja saadaan virhekerroin. Tämän jälkeen mitataan halutusta valonlähteestä valovirta, joka on tässä tutkimuksessa ledi ja siihen mahdollisesti kiinnitetty sekundaarioptiikka. Mitatussa arvossa ei kuitenkaan ole otettu huomioon integroivanpallon virhekerrointa, joten tämä arvo kerrotaan virhekertoimella, ja saadaan oikea kokonaisvalovirta eli lumen määrä.

Tutkimuksessa kuitenkin halutaan tutkia sekundaarioptiikan optista hyötysuhdetta. Tällöin mitataan lumen määrä ledistä ja ledi sekundaarioptiikka yhdistelmästä erikseen. Ledi sekundaarioptiikka yhdistelmällä saatu lumen määrä jaetaan pelkästä ledistä mitatulla lumen-arvolla. Kyseinen arvo kerrotaan sadalla ja saadaan optiikan optinen hyötysuhde prosentteina. [16]

$$\eta = \frac{\Phi_{\text{out}}}{\Phi_{\text{in}}} * 100$$

η = Hyötysuhde prosentteina

Φ_{out} = Ulos tuleva kokonaisvalovirta

Φ_{in} = Sisään tuleva kokonaisvalovirta

5.1.3 Valokuvion mittaus

Valokuvion mittaukseen on käytössä kolme eri goniofotometriä. Kaksi niistä on täysin automaattista ja yksi puoliautomaattinen. Laboratoriot ovat kalibroituja ja ristiin testattuja, joten tulokset vastaavat toisiaan. Tässä tutkimuksessa käytettiin automaattista goniofotometriä. Automaattisella goniofotometrillä on nopea tehdä tarkkoja mittauksia, jotka on tehty täysin samalla tavalla verrattuna toisiinsa. Goniofotometrillä tehdyt tarkat mittaukset antavat paljon tietoa optiikasta ulostulevasta valokuvion. Näistä tuloksista saadaan samat tutkimukseen tarvittavat tiedot valokuvion, mitkä simuloimalla on arkistoitu eli valovirran maksimi arvo, FWHM ja kokonaiskulma, jossa valoa on 10 % maksimista.

Nämä arvot saadaan mittaamalla valokuvio goniofotometrillä. Mittauksen tarkkuuteen vaikuttaa laitteiston tarkkuus, valolähteen asettelu sekä mittaajan määrittämä mittausresoluutio. Tutkimuksessa tehdyissä mittauksissa valolähde oli kiinnitetty ruuveilla tarkasti koneistettuun levyyn. Mittaajan määrittämä mittausresoluutio oli pyöritysakselilta 360 astetta 10 asteen välein ja kääntöakselilta ± 90 astetta yhden asteen välein. Tämä mittaustarkkuus on todettu tarkaksi symmetrisissä optiikoissa. Tätä tarkemmalla mittausresoluutiolla mittauksen mittausaika pidentyy huomattavasti. Kyseisellä tarkkuudella yhden mittauksen kesto oli noin 30 minuuttia. Goniofotometrin pyörähdysakselien tarkkuus on ± 0.05 astetta ja valaistusvoimakkuusmittauksen tarkkuus on ± 0.2 %. [17][24]

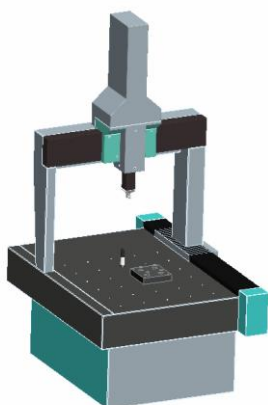
Mittauksessa ensimmäinen mittaustaso otetaan nollan asteen pyörityksellä ja valolähdettä käännettään ± 90 astetta yhden asteen välein. Luksimittari mittaa valovirta-arvon, jokaisen askeleen välein. Seuraavan tason mittauksessa pyöritetään valolähdettä 10 astetta ja käännetään sen jälkeen valolähdettä samalla tavalla kuin ensimmäisen tason mittauksessa ± 90 astetta. Tasojen mittausta jatketaan, kunnes valonlähde on pyörähtänyt 360 astetta. Näistä mittaustuloksista goniometrin ohjelmisto tekee tarkan mittausraportin tai valonjakotiedoston. Mittausraportista nähdään kaikki tutkimukseen tarvittavat tiedot valokuvion.

5.2 Mekaniikan mittaus

5.2.1 Mittauslaitteet

Koordinaattimittauslaite

Koordinaattimittauslaite on tarkka, mutta hidas mittaväline. Yleensä se on liian hidas massatuotannon laaduntarkkailuun. Esimerkiksi koordinaattimittauslaitteella menee yhden optiikkatuotteen mittauksessa suunnilleen puolituntia, mikäli tuotteesta mitataan noin 15 eri mittaa, kun taas työntömitalla optiikan päämitat saadaan mitattua sekunneissa. Mittalaitteessa on kärki, joka osuessaan kappaleeseen antaa koordinaatin. Mittakärjestä johtuen joustavissa kappaleissa saatetaan esiintyä mittavirhettä. Mitattava kappale pitää myös kiinnittää alustaan kiinni, ettei se pääse mittauskärjen osuessa liikkumaan. Kuvassa 6 on perinteinen koordinaattimittauslaite. [2]



Kuva 6. Koordinaattimittauslaite. [2]

Videomikroskooppi

Videomittaus perustuu kappaleen särmien mittaamiseen kuvasta. Kappaleen särmät eivät ole täysin tarkkoja, joka aiheuttaa mittavirhettä. Kokeneet mittaajat vähentävät virheitä. Kokenut mittaaja osaa esimerkiksi käyttää tarpeeksi monta mittauspistettä ympyrän kaarella ja erottaa paremmin kappaleen reunan kuvasta. [2]

Manuaaliset mittaustavat

Manuaalisilla mittausten menetelmillä tarkoitetaan käsin käytettäviä mittalaitteita esimerkiksi työntömittaa, mittakelloa tai mikrometriä. Näillä mittaustalaitteilla tehdyt mittaukset ovat yleensä suuntaa-antavia. Epätarkkuus johtuu siitä, että mitaaja ja mittalaite aiheuttavat mittavaihtelua paljon enemmän verrattuna video- tai koordinaattimittaukseen. Kaikki tutkimuksessa käytetyt mittalaitteet olivat kalibroituja ISO 9001:n vaatimalla tavalla. [2]

5.2.2 Geometriamittojen mittauksessa käytetyt mittalaitteet

Tutkimuksessa käytettiin mittalaitteina työntömittaa ja videomikroskooppia. Käytettävissä olisi ollut myös koordinaattimittauslaite. Videomikroskoopissa mitattavaa kappaletta pystytään liikuttamaan kahdella akselilla. Kappaletta voidaan myös valaista ylhäältä ja alhaalta, mittalaitteessa olevilla ledeillä. Videomikroskoopilla päästään ± 0.001 mm tarkkuuteen. Tässä tutkimuksessa käytettiin videomikroskooppia mitoissa, joita ei työntömitalla pystytty mittaamaan. Käytössä oli työntömitta, jonka tarkkuus oli ± 0.01 mm. Työntömittaa käytettiin kaikissa selkeissä mitoissa, jotka olivat tarkasti mitattavissa työntömitalla. [13], [18]

5.3 Mittaukseen valitut tuotteet ja niiden mittaus

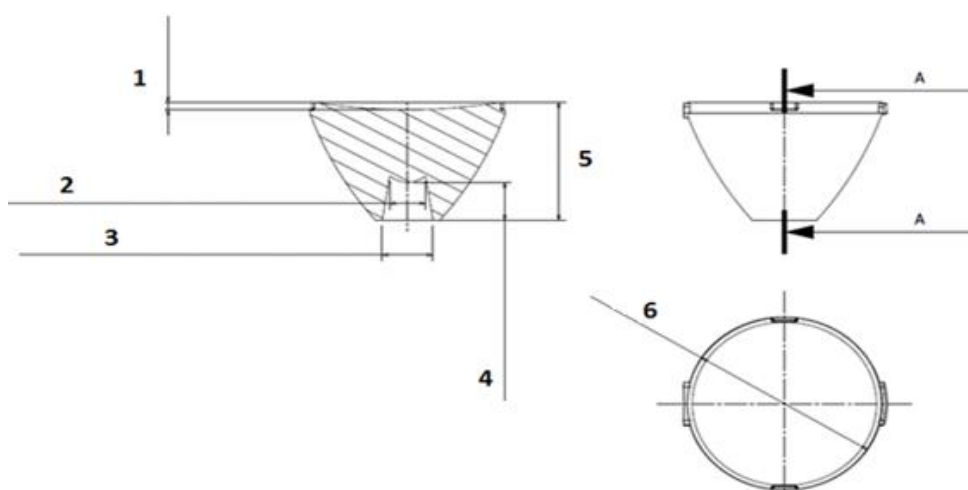
Tässä kappaleessa valitaan tutkimuksessa käytetyt optiikkatuotteet. Tutkimuksen mittaussosiossa haluttiin keskittyä vain TIR-linsseihin, koska suurin osa toimeksiantajan tuotteista oli TIR-linssejä. Tästä johtuen heijastaja-optiikoissa keskitytään vain simulointeihin.

TIR-linssit

Simuloimalla huomattiin, että osa linssin mitoista oli kriittisiä linssin toiminnalle. Simulointituloksia käsitellään tarkemmin kappaleessa 6.1. Mittaukseen kuitenkin valittiin tehtaalta näytteinä tulleita linssejä, joissa jokin mitoista oli ± 0.1 mm:ä

suunnitellusta mitastaan. Näytekappaleet olivat tuotannon ylösajovaiheessa tehtyjä testikappaleita.

Valituista linseistä oli valmiiksi tehty mittausraportit mekaanisista mitoista, mutta ne eivät soveltuneet tutkimukseen. Mittaukset tehtiin uudelleen ja arkistoitiin tarkasti. Tuotteista mitattiin vertailukappale ja näytearkistokappale. Mekaanisia mittauksia tehtiin ledeille, pidikkeille ja linseille. Linseistä mitattiin kuvassa 7 näkyvät mitat.



Kuva 7. Linseistä mitatut mekaaniset mitat.

Mitat 1, 4, 5 ja 6 mitattiin työntömitalla. Mitat 2 ja 3 mitattiin videomikroskoopilla. Mittaustuloksista tehtiin mittausraportit. Kaikista linseistä tutkittiin lisäksi mikroskoopilla löytyykö halkeamia tai muita virheitä.

Linssien pidikkeet mitattiin työntömitalla ja videomikroskoopilla. Pidikkeistä mitattiin korkeus, mahdollisien paikoitustappien sijainti ja testattiin linssin sopivuus pidikkeeseen. Pidikkeet olivat samat vertailtavilla linseillä, joten pidikkeiden mittavirheet vaikuttivat yhtä paljon molempiin.

Ledien sijainnit piirilevyillä mitattiin videomikroskoopilla. Mittauksissa ledi sai olla maksimissaan 0.1 mm piirilevyn keskipisteestä X- ja Y-akseleilla. Mikäli ledi ei ollut 0.1 mm tarkkuudella paikallaan, niin se juotettiin uudelleen paikalleen tai vaihdettiin toiseen.

Jokaisesta mittaukseen valitusta linssistä mitattiin valonjakotiedosto goniofotometrillä. Goniofotometri antaa raportin mittauksesta, ja siitä selviää valokuvista tarvittavat tiedot. Linssille tehtiin myös hyötysuhdemittaus integroivalla pallolla.

5.4 Mittavirheet

Mittaustulokseen vaikuttavat kohde, mittauslaite, menetelmä, ympäristö ja mittaaja. Mittaustulos ilman epävarmuustekijöiden huomioimista on merkityksetön. Tutkimuksessa tehdyissä mittauksissa pyrittiin ottamaan huomioon kaikki epävarmuustekijät. [12]

Tutkimuksessa käytetyille valomittauslaitteille oli tehty kalibroinnit, kaikki ylimääräiset heijastukset oli minimoitu ja muualta kuin mitattavasta valonlähteestä tuleva valo oli minimoitu. Mittaajan virhe oli minimoitu automaattisella gonioometrillä. Goniofotometrimittauksissa heijastukset ja muualta tulevan valon määrä oli minimoitu maalaamalla seinät mattamustaksi. Tarkkuutta oli myös parannettu keskittämällä valonlähde laserilla ja kiinnittämällä valonlähde ruuvikiinnityksellä goniofotometriin. Mekaanisten mittausten mittaamisessa otettiin huomioon epävarmuustekijät. Mittalaitteet olivat kalibroituja, mitattavat kohteet ja laitteet olivat mittaukseen sopivia. Mittaajan virheet otettiin huomioon toistoilla.

6 TULOKSET

6.1 Simulointitulokset

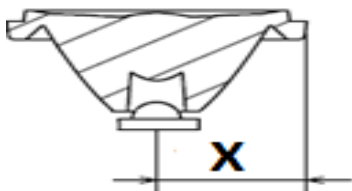
TIR-linssit

Tutkimuksessa simuloitiin kolmen eri linssin optista suorituskkyä. Jokaisesta tuotteesta muutettiin kuutta eri geometriamittaa ja yhtä ledin sijaintimittaa. Taulukosta 2 selviää simuloinneissa käytetyt linssit ja ledit.

Taulukko 2. Simuloinneissa käytetyt linssit ja ledit.

Simuloidut tuotteet
Linssi A
Linssi B
Linssi C
Ledi L
Ledi M

L-lediä käytettiin A- ja B-linssien kanssa. C-linssin kanssa käytettiin M-lediä, koska ledi L ei ollut sille sopiva. Jokaisen linssin 3D-mallista muutettiin kuvan 7. geometriamittoja ja kuvan 8. x-mittaa 0.2 mm:ä suuremmaksi ja pienemmäksi suunnitellusta mitasta. Mittoja muutettiin 0.1 mm:n välein, joten jokaista geometriamittaa kohti 3D-malleja tehtiin viisi. Näitä muokattuja 3D-malleja käytettiin simuloinneissa.



Kuva 8. Ledin sijainti suhteessa linssiin.

Kaiken kaikkiaan simulaatioita tehtiin noin 100 kappaletta. Jokaisesta simuloinnista tallennettiin luvussa 4.2 mainitut optiset arvot. Simuloituja-arvoja analysoimalla löydettiin eniten vaikuttavat mitat. Näitä mittoja olivat 2, 5 ja 6, jotka

löytyvät kuvasta seitsemän. Vaikuttavien mittojen rajaksi määriteltiin viiden prosentin muutos linssin normaalista toiminnasta. Linssiin A vaikutti liikaa myös mitta 1, kun se oli 0.2 mm:ä alle suunnitellun mitan, mutta kyseinen linssi ja mitta (0.55 mm) ovat niin pieniä, että muutos oli odotettavissa.

Yhtenä tutkittavana optisena suurena oli optiikan optinen hyötysuhde, mutta mikään yksittäisen geometriamitan muutos ei vaikuttanut linssin optiseen hyötysuhteeseen yli viiden prosentin muutosta simuloinneissa. Geometriamittamuutokset vaikuttivat kaikkiin muihin optisiin suureisiin yli viisi prosenttia.

Geometriamuutosten vaikutus prosentteina eri mittasuureisiin näkyy liitteenä 1. olevasta taulukosta. Taulukossa ovat maksimi muutosprosentit optisissa mitoissa alas ja ylöspäin, verrattuna suunnitellussa mitassa olevan linssin optisiin mittoihin. Kaikista kolmesta eri linssisimulaatiosta laskettiin muutosprosentit, ja tässä taulukossa on suurimmat muutokset. Yli viiden prosentin muutokset on värjätty punaisella.

Taulukon perusteella voidaan todeta, että yhden geometriamitan muutos voi vaikuttaa eri linseissä optisiin mittoihin eri suuntaan. Esimerkiksi mitan 5 muuttaminen - 0.2 mm suunnitellusta saattaa muuttaa linssin optista toimintaa alasta tai ylöspäin. Piikkiarvo voi kyseisessä tilanteessa muuttua (- 11 %) – (15 %) riippuen linssistä. Tämä johtaa siihen, että simulointien perusteella ei pystytä arvioimaan muutoksen suuntaa. Simulointitulosten perusteella kuitenkin pystytään arvioimaan muutoksen suuruutta.

Lisäksi tehtiin simulointeja erilaisilla päällyspinnoilla olevilla linseillä. Taulukossa 3 näkyy tuotteet, joita simuloitiin. Taulukossa näkyy minkälainen päällyspinta kullakin tuotteella oli. Linseistä muutettiin mitta 1 ± 0.2 mm:ä 0.05 mm:n välein. Liitteenä 2 olevista kuvaajista näkyy miten optinen suorituskyky muuttui, kun mitta 1 muuttui. Tuloksista voidaan päätellä, että muutoksen suuruus riippuu paljon linssin päällyspinnasta.

Taulukko 3. Simuloidut päällyspinnat

Simuloidut päällyspinnat
päällyspinta 1
päällyspinta 2
päällyspinta 3
päällyspinta 4

Heijastajat

Heijastajasta muutettiin kuvassa 3 olevia geometriamittoja yksi kerrallaan 0.2 mm:n välein ± 0.6 mm:ä. Kaikkia muokattuja malleja käytettiin valosimuloinneissa. Simuloinneista saatiin kappaleessa 4.2 mainitut optiset arvot. Valosimuloinneista saatuja arvoja verrattiin suunnitelluissa mitoissa olevan heijastan optisiin arvoihin. Vertailusta tehtiin liitteenä 3 oleva taulukko, josta näkyy muutosten suuruudet prosentteina. Taulukon perusteella voidaan todeta, että mittojen 1 – 3 muutokset vaikuttivat heijastajien optisiin arvoihin merkittävästi. Toiseksi voidaan todeta, että heijastajan 0.6 mm:n väärä paikoitus suhteessa lediin, X/Y-akseleilla ei muuttanut heijastajan toimintaa merkittävästi.

6.2 Mittaustulokset

TIR-linssit

Mitattavia linsejä oli 11 kappaletta. Taulukossa 4 näkyvät mitatut tuotteet ja mitat, jotka niistä on ulkona toleranssista. Toleranssiksi kaikille mitoille annettiin ± 0.1 mm:ä. Kaikissa linseissä toleranssin ulkona olevat mitat ovat kuitenkin alle ± 0.3 mm:n päässä suunnitelluista mitoista.

Taulukko 4. Mitatut linssit ja geometriamittojen mittaustulokset.

Linssi	Mitta >-0.1 mm suunnitellusta	Mitta >0.1 mm suunnitellusta
1	–	
2	–	1
3	–	
4	2 ja 3	1
5	5	–
6	2, 5 ja 6	4
7	2, 5 ja 6	–
8	1	4
9	2	4 ja 5
10	–	1 ja 5
11	–	1, 5 ja 6

Optiset mitat mitattiin kaikista samoista linseistä, joista aiemmin geometriamitat mitattiin. Taulukossa 5 ovat optisten mittausten mittaustulokset.

Taulukko 5. Optisten mittojen mittaustulokset

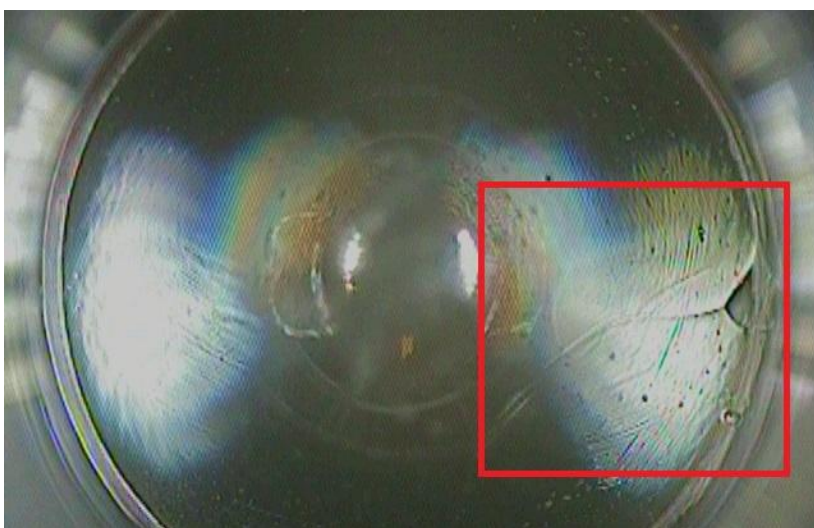
Linssi	Valon maksimi-intensiteetti (cd/lm)	FWHM (astetta)	Koko leveys, kun intensiteetti on 10% maksimista (astetta)	Hyötysuhde
1	0.92	59	89	91 %
2	0.87	61	91	90 %
3	32.52	8	15	95 %
4	32.51	7	15	92 %
5	18.23	8	23	94 %
6	23.70	8	20	94 %
7	25.67	7	19	94 %
8	1.02	55	87	89 %
9	0.96	54	88	86 %
10	3.12	28	52	91 %
11	3.61	26	48	92 %

7 TULOSTEN ANALYSOINTI

7.1 Mittaustulosten yhteenveto

Mittaustuloksista voidaan havaita, että suurimmat optiset muutokset ovat tapahtuneet linssien 5, 6, 7 ja 11 kohdalla. Muissa linssissä eivät muutokset olleet niin suuria.

Linssiin 5 oli syntynyt halkeama kriittiselle alueelle, joka näkyy kuvassa 9, ja mitta 5 oli kyseisessä linssissä alle toleranssin. Halkeaman selittää se, että kappale oli tuotannon ylösajovaiheessa tehty testikappale. Tämän havainnon jälkeen etsittiin tuote 7, jossa sama mitta oli alle toleranssin, mutta tuotteessa ei ollut halkeamaa. Linssien 3 – 7 optisia mittoja verrattaessa huomattiin, että optiset mitat erosivat toisistaan melko paljon. Nämä kaikki tuotteet olivat samanlaisia, mutta geometriamitat olivat erilaiset. Haljenneessa linssissä valon maksimi-intensiteetti oli matalampi ja leveillä kulmilla oli enemmän valoa verrattuna linssiin, joissa ei ollut kriittisellä alueella halkeamaa. Tämä todennäköisesti johtui siitä, että halkeama hajotti keskeltä valoa leveämmille kulmille. Tämän perusteella voidaan todeta, että halkeama linssin kriittisellä alueella muutti optiikan toimintaa huomattavasti.



Kuva 9. Halkeama linssissä 5.

Linssien 5 – 7 optiset mittaustulokset poikkesivat paljon vertailulinssin 3 tuloksista. Linssit 5 – 7 olivat samaa näyte-erää. Tämän takia on mahdollista, että kaikissa näyte-erän linseissä olisi sisäisiä tai ulkoisia vaurioita.

Optisten mittausten tuloksista tehtiin taulukko 6, josta näkyy optisen suorituskyvyn ero prosentteina vertailulinssin ja näytelinssin välillä. Taulukon tuloksista nähdään, että linseissä 3 – 7 erot olivat huomattavia, mutta myös linssien 10 ja 11 ero on yli 15 prosenttia toisistaan. Muissa mittauksissa ei syntynyt yli viiden prosentin eroa vertailulinssin ja näytelinssin välillä.

Taulukko 6. Optisensuorituskyvyn ero vertailulinssin ja näytelinssin välillä prosentteina.

Linssi	Valon maksimi-intensiteetti (cd/lm) muutos	FWHM muutos	Koko leveyden muutos, kun intensiteetti on 10 % maksimista	Hyötysuhde muutos
1	Vertailulinssi			
2	-5 %	3 %	2 %	-1 %
3	Vertailulinssi			
4	0 %	-3 %	5 %	-3 %
5	-44 %	0 %	59 %	-1 %
6	-27 %	1 %	38 %	-1 %
7	-21 %	-3 %	33 %	-1 %
8	Vertailulinssi			
9	-6 %	-1 %	2 %	-3 %
10	Vertailulinssi			
11	16 %	-7 %	-8 %	1 %

7.2 Mittaustulokset verrattuna simulaatiotuloksiin

Tässä kappaleessa käydään kaikki mittaustulokset läpi. Mittaustuloksia verrataan simulointituloksiin. Vertailusta päätellään, miten hyvin simulointitulokset vastaavat mittaustuloksia.

Linseissä 1 ja 2 ei ollut muuta suurta eroa, kuin mitta 1. Simulointien perusteella tämä mitta ei linseissä aiheuttanut suurta muutosta optiseen suorituskykyyn.

Taulukosta 6 voidaan huomata, että mittaustulosten perusteellakaan optinen suorituskky ei muuttunut olennaisesti.

Linssissä 4 oli kolme eri mittavirhettä. Mitat 1 – 3 olivat yli 0.1 mm:ä suunnitelusta mitasta. Linssin 4 mittaustuloksia verrattiin vertailulinssi 3:n mittaustuloksiin, ja huomattiin, että tuloksissa ei ollut merkittävää eroa. Liitteen 1 perusteella olisi myös voitu todeta, ettei optisen suorituskvynmuutos pitäisi olla merkittävä. Liitteen 1 taulukosta katsomalla, ei mikään yhden mitan virhe näytä muuttavan yli viittä prosenttia optiikan suorituskvyyä. Linssissä 4 oli kuitenkin niin monta mittavirhettä, että muutosta ei pysty luotettavasti arvioimaan.

Linssien 5 – 7 optiset mittaustulokset muuttuivat huomattavasti verrattuna vertailulinssi 3:n mittaustuloksiin. Samat geometriamuutokset simulaatioissa, kuin näissä mitatuissa linseissä eivät tehneet lähellekään yhtä suuria muutoksia optisiin arvoihin, kuin mittaukset osoittivat. Linssissä 5 muutoksen aiheutti halkeama.

Linssejä 8 ja 9 erottavat mitat 1, 2 ja 5. Mittojen 1 ja 2 muutokset eivät ole liitteen 1 simulointitulosten perusteella kovin merkitseviä optisen suorituskvyn kannalta. Mitta 5 kuitenkin on merkitsevä, joten optinen suorituskky saattaa muuttua. Mittaustulokset osoittavat, että optinen suorituskky on muuttunut hieman yli viisi prosenttia.

Linssejä 10 ja 11 erottavat mitta 6. Simulointien perusteella se saattaa muuttaa optista suorituskvyyä merkittävästi. Mittaukset osoittavat, että valon maksimi-intensiteetti on noussut 16 %:a ja valokuvio on kaventunut. Simulointitulokset eivät kuitenkaan kertoneet näin suuresta muutoksesta. Tämä mahdollisesti johtuu siitä, että kyseinen linssi on simuloituja linssejä herkempi mitan 6 muutoksille.

8 TUTKIMUKSEN YHTEENVETO

Tutkimus antoi hyvän kuvan, siitä miten optiikan optinen suorituskky muuttui, kun sen mekaaniset mitat muuttuivat. Simulaatioita voisi tehdä lisää, jotta tulokset kattaisivat vielä paremmin kaikki tuotteet, ja toistojen ansiosta tulosten luotettavuus kasvaisi.

Simulaatiotuloksista löydettiin merkitseviä mittoja, joita ei ollut ennen todettu merkittäviksi. TIR-linsseissä mitat 2 ja 5 muuttivat optiikan suorituskkyä yli viisi prosenttia mitan muuttuessa vain 0.1 mm:ä. Jatkossa voidaan tuotannosta tulleist kappaleista mitata simulaatioiden kohteena olleet geometriamitat, ja simuloititaulukoiden perusteella nähdä miten paljon optinen suorituskky mahdollisesti muuttuisi haluttuun suorituskkyyn verrattuna. Tulosten perusteella, voidaan tarkemmin keskittyä merkitseviin mittoihin. Simulaatiotulosten avulla voidaan myös paremmin selvittää, mistä mahdollinen optiikan optisen suorituskkyyn muutos johtuu.

Erilaisten päällyspintojen simuloinnilla saatiin tieto siitä, miten herkästi TIR-linssien päällyspinnan mitta 1 muutti linssin optista toimintaa. Liitteenä 2 olevan taulukon perusteella voidaan todeta, että päällyspinnalla 3 tai päällyspinnalla 4 olevalla linssillä mitta 1 vaikutti linssin optiseen suorituskkyyn. Linsseissä joissa oli päällyspinta 1 tai päällyspinta 2 ei mitta 1 vaikuttanut yhtä paljoa linssin toimintaan.

Tuotannon ylösajovaiheessa tehdystä kappaleesta löydettiin kriittisestä paikasta halkeama, joka yhdistettiin optisen suorituskkyyn muutokseen. Tämä oli kuitenkin yhden havainnon perusteella tehty päätelmä. Mikäli tuotannon ylösajovaiheessa jatkossa havaitaan tuote, josta löytyy halkeama ja mahdollisesti todetaan sama optisen suorituskkyyn muutos, niin voidaan olla aika varmoja halkeaman merkittävydestä.

Yhtenä osana tutkimusta tutkittiin, miten hyvin simulaatiotuloksia voidaan verrata mittaustuloksiin. Mittaukseen otettiin näyte-eränä saatuja linssejä, joissa oli geometriamitoissa heittoja ja tehtiin niille optisia ja mekaanisia mittauksia. Simu-

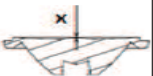

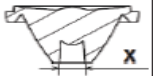




laatiotuloksia verrattiin mitattuihin tuloksiin. Vertailun perusteella, voidaan sanoa, että simulaatiotuloksilla pystyttiin päättämään optiikan optisen suorituskyvyn muutoksen suuruutta. Taulukkojen perusteella ei kuitenkaan pystytty kovin tarkasti määrittelemään muutoksen määrää tai suuntaa. Syynä tähän oli tuotteiden erilainen suunnittelu verrattuna simuloituihin tuotteisiin. Jatkossa voitaisiin tuotannosta lähetettyjen näyte-erien mittauksessa vertailla mittaustuloksia ja simulointitaulukon tuloksia toisiinsa. Vertailun perusteella voitaisiin kysyä, että olisiko sama tulos saatu pelkän taulukon avulla. Tämä antaisi varmuutta taulukon paikkansa pitävyydelle.

LÄHTEET

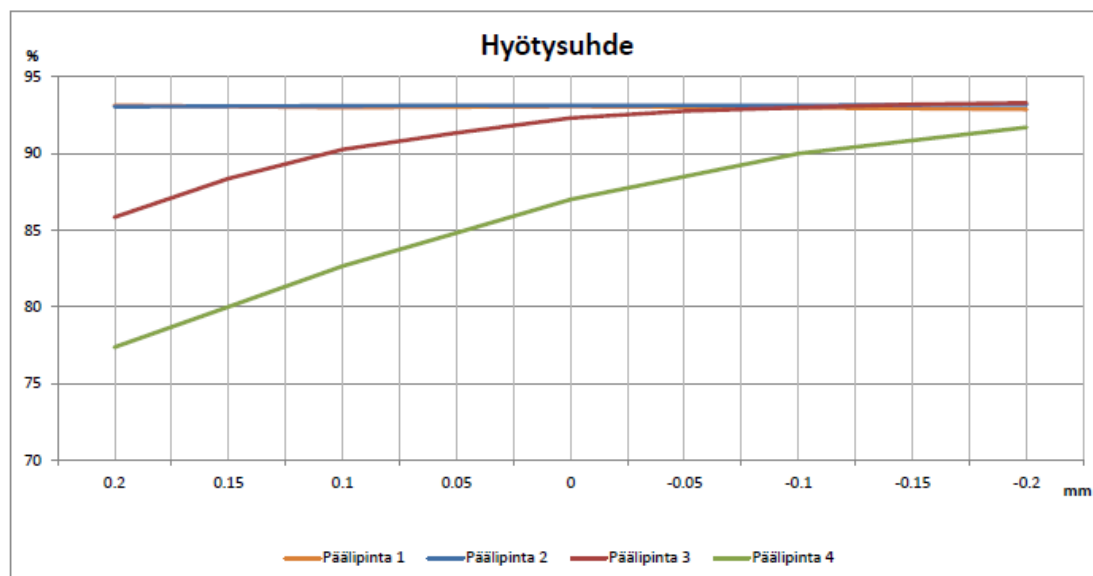
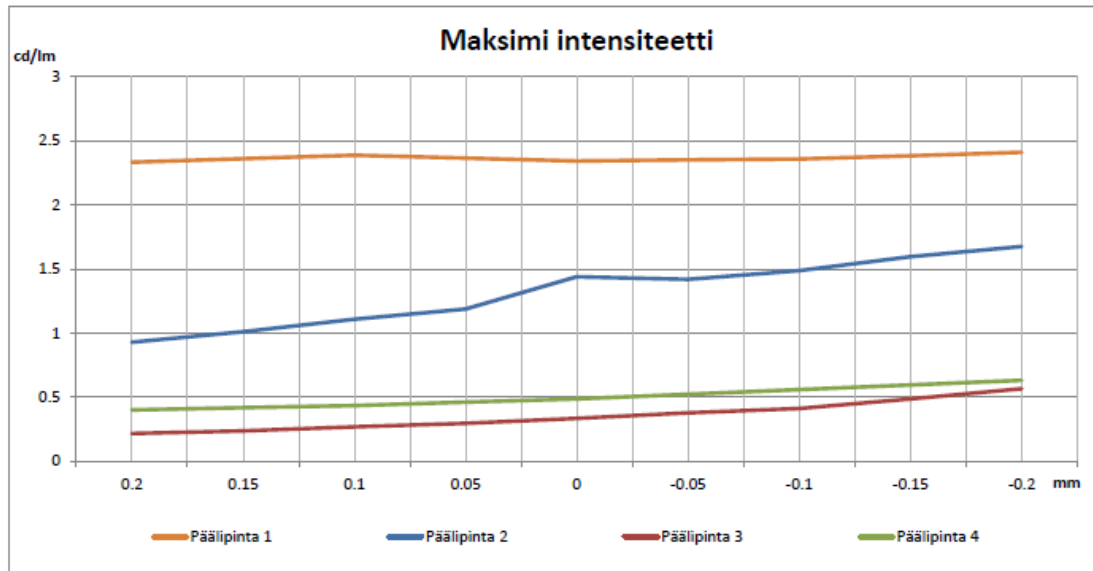
- [1] [www-dokumentti]. Arrow Electronics, 2013, Optic Categories, Viitattu 6.6.2013
<http://www.arrow.com/solutions-applications/lighting/opticsbasics.html>
- [2] [www-dokumentti]. Tampereen teknillinen yliopisto, 2010, Ruiskuvalettavan muovituotteen mekaniikkasuunnittelu, Viitattu 6.6.2013
https://www.tut.fi/ms/muo/polyko/materiaalit/PKAMK/PPDF/Polyko_PKAMK_Final.pdf
- [3] [www-dokumentti]. LED professional, 2013, Measurement of LEDs, Viitattu 6.6.2013
<http://www.led-professional.com/technology/measurement-simulation/measurement-of-leds>
- [4] [www-dokumentti]. Karjalainen, V., 2013, VALAISTUSTA VALOON, Viitattu 6.6.2013
http://www.savled.com/valaistusta_valoon.pdf
- [5] [www-dokumentti]. Zuber, R., Dähn, W. & Angelo, B., 2010, Measuring and analyzing LED performance, Viitattu 6.4.2013
http://www.electronicproducts.com/Test_and_Measurement/Benchtop_Rack_Mountable/Measuring_and_analyzing_LED_performance.aspx
- [6] Zemax development corporation, 2006, Optical design program user's guide
- [7] LEDiL Oy, 2013, Esitysmateriaali
- [8] [www-dokumentti]. Tetri, R., 2010, Mitä ledi on ja mitkä ovat sen edut ja haitat?, Viitattu 6.6.2013 http://www.valosto.com/tiedostot/Kohti_valoa_Tetri.pdf
- [9] [www-dokumentti]. Lightspot, 2013, What is COB?, Viitattu 6.6.2013 <http://www.cob-led.com/What-is-cob-LED-chips-on-board.html>
- [10] [www-dokumentti]. Jenkins, D., 2009, Ledifaktoja, Viitattu 6.6.2013
http://www.valosto.com/tiedostot/LedifaktojaValomessut%202009_1.pdf
- [11] [www-dokumentti]. Gigahertz-Optik, 2002, Application & Product Guide, Viitattu 6.6.2013
http://www.gigahertz-optik.de/files/catalogue_complete_300dpi_neu.pdf
- [12] [www-dokumentti]. Semenoja, S., 2009, Kalibrointitulosten ja mittausepävarmuuden hyödyntäminen, Viitattu 6.6.2013 http://www.mikes.fi/documents/upload/sari_semenoja_finas-paiva_2009.pdf
- [13] [www-dokumentti]. Merlin, Video Measuring System, Viitattu 6.6.2013
<http://www.optimaxonline.com/pdf/Optimax-Merlin.pdf>

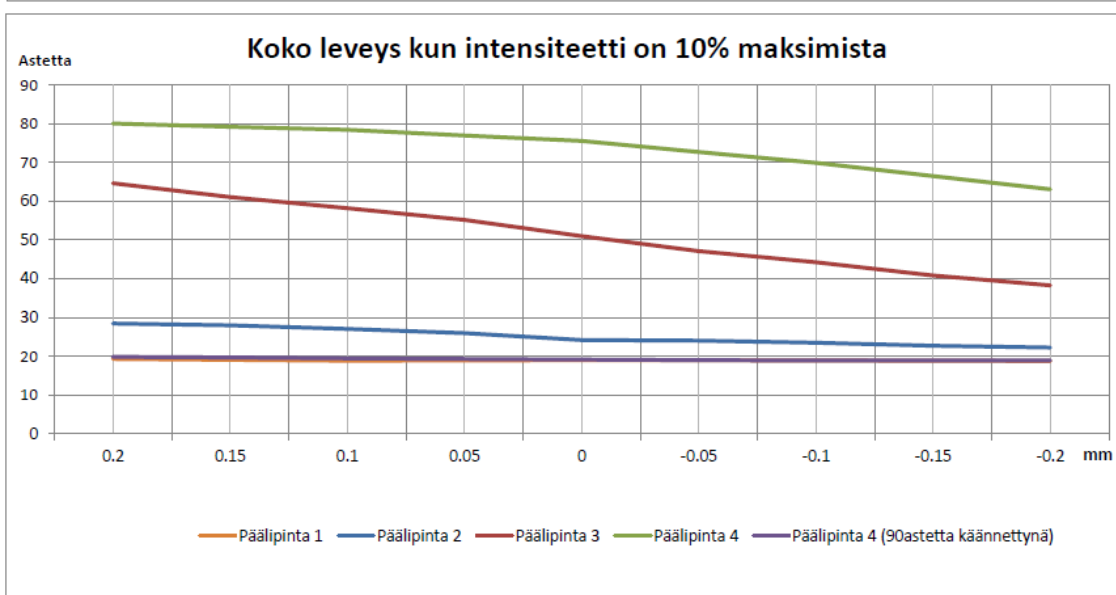
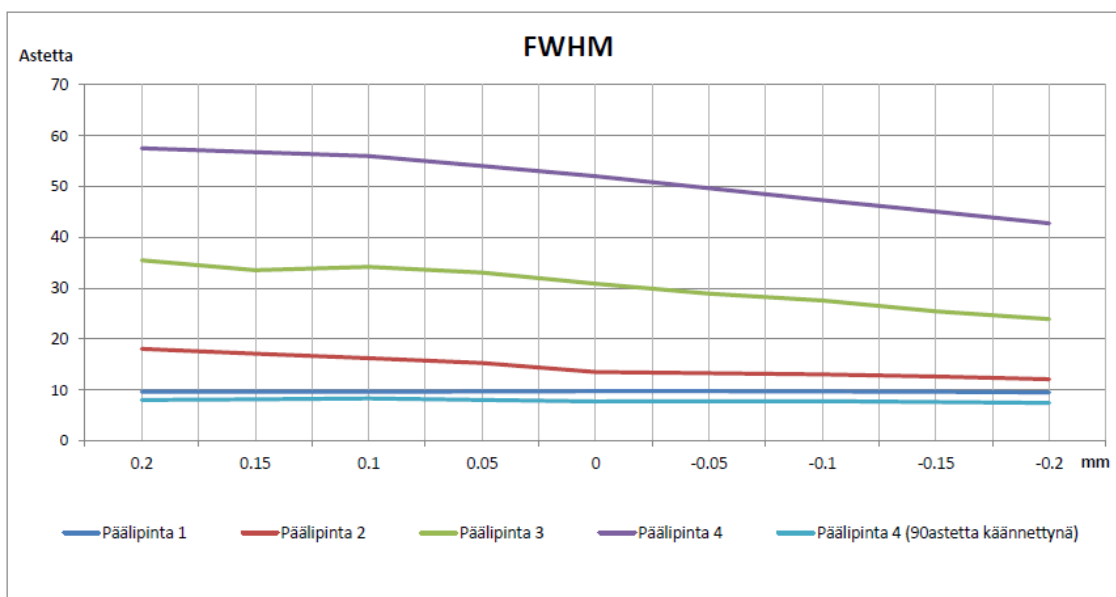
- [14] Alanko, S., 2005, Yleinen aaltoliikeoppi, Oulun yliopisto, Fysikaalisten tieteiden laitos, s. 43–56.
- [15] [www-dokumentti]. Ledil Oy, 2012, TIR Lens Guide, Viitattu 6.6.2013
http://ledil.com/sites/default/files/tir_lens_guide-web.pdf
- [16] [www-dokumentti]. Kuntze, T., 2009, All Facts for Choosing LED Optics Correctly, Viitattu 6.6.2013 http://ledil.fi/sites/default/files/Documents/Technical/Articles/Article_1.pdf
- [17] [www-dokumentti]. Everfine, 2012, GO-2000 GONIOPHOTOMETER Specifications, Viitattu 6.6.2013 <http://www.everfine.net/productinfo.php?pid=75&fid=8>
- [18] [www-dokumentti]. Mitutoyo, 2013, ABSOLUTE Digimatic Caliper Series 500-with Exclusive ABSOLUTE Encode Technology, Viitattu 6.6.2013 <http://ecatalog.mitutoyo.com/ABSOLUTE-Digimatic-Caliper-Series-500-with-Exclusive-ABSOLUTE-Encode-Technology-C1381.aspx>
- [19] [www-dokumentti]. Ledil Oy, Ledil – Best LED Optics in the World, Viitattu 6.6.2013
http://ledil.fi/sites/default/files/Documents/Technical/Brochure/LEDIL_Brochure_A5.pdf
- [20] [www-dokumentti]. Turun Sanomat, 2013, Palkintoja kahminut salolaisyritys sai vuoden vientipalkinnon, Viitattu 6.6.2013
<http://www.ts.fi/uutiset/talous/436211/Palkintoja+kahminut+salolaisyritys+sai+vuoden+vientipalkinnon>
- [21] [www-dokumentti]. Ledil Oy, 2013, Products, Viitattu 6.6.2013 <http://ledil.com/products>
- [22] [www-dokumentti]. Kuntze, T., 2007, Plastic Optics Enable LED Lighting Revolution, Viitattu 6.6.2013 http://www.wiley-vch.de/berlin/journals/op/07-04/OP0704_S42_S45.pdf
- [23] [www-dokumentti]. J, Bartl., 2004, M, Baranek., Emissivity of aluminium and its importance for radiometric measurement, Viitattu 6.6.2013 <http://www.measurement.sk/2004/S3/Bartl.pdf>
- [24] Suomi, E., Ledil Oy, Henkilökohtainen tiedonanto 10.01.2013

TIR-linssien geometriamuutosten simulointitulokset

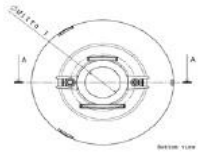
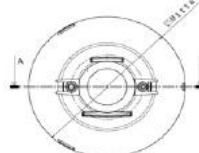
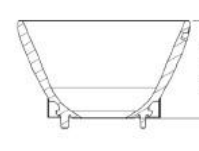
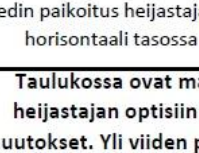
		Piikkiarvo		10% kulma		FWHM		Hyötysuhde	
Mitta	Muutos (mm)	Muutos ylöspäin	Muutos alaspäin	Muutos ylöspäin	Muutos alaspäin	Muutos ylöspäin	Muutos alaspäin	Muutos ylöspäin	Muutos alaspäin
	1	-0.2	0 %	-2 %	2 %	0 %	6 %	0 %	0 %
		-0.1	1 %	-1 %	1 %	0 %	3 %	0 %	0 %
		0	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
		0.1	1 %	-1 %	2 %	0 %	2 %	0 %	0 %
		0.2	1 %	-3 %	2 %	-1 %	1 %	0 %	-1 %
	2	-0.2	4 %	-2 %	2 %	-4 %	2 %	0 %	0 %
		-0.1	2 %	0 %	0 %	-2 %	2 %	0 %	0 %
		0	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
		0.1	1 %	-8 %	4 %	-1 %	5 %	0 %	0 %
		0.2	2 %	-13 %	7 %	0 %	8 %	1 %	0 %
	3	-0.2	1 %	-5 %	2 %	-2 %	3 %	-1 %	0 %
		-0.1	1 %	-1 %	1 %	-1 %	1 %	0 %	0 %
		0	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
		0.1	2 %	0 %	0 %	-1 %	2 %	0 %	0 %
		0.2	0 %	-1 %	1 %	-1 %	2 %	0 %	0 %
	4	-0.2	-1 %	-3 %	1 %	0 %	2 %	0 %	0 %
		-0.1	1 %	-1 %	2 %	-2 %	2 %	-1 %	0 %
		0	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
		0.1	3 %	-1 %	2 %	-3 %	3 %	1 %	0 %
		0.2	3 %	-2 %	5 %	-3 %	3 %	1 %	0 %
	5	-0.2	15 %	-11 %	10 %	-9 %	5 %	-14 %	0 %
		-0.1	11 %	-3 %	4 %	-7 %	4 %	-8 %	0 %
		0	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
		0.1	5 %	-2 %	1 %	-2 %	4 %	-2 %	1 %
		0.2	2 %	-8 %	7 %	0 %	3 %	-2 %	0 %
	6	-0.2	2 %	-7 %	3 %	0 %	9 %	-3 %	0 %
		-0.1	0 %	-2 %	1 %	0 %	3 %	1 %	0 %
		0	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
		0.1	1 %	-3 %	3 %	-2 %	2 %	-4 %	0 %
		0.2	-1 %	-5 %	7 %	0 %	2 %	-4 %	0 %
	7	-0.2	-3 %	-4 %	1 %	0 %	3 %	3 %	0 %
		-0.1	1 %	-1 %	1 %	-1 %	2 %	-3 %	0 %
		0	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
		0.1	1 %	-1 %	1 %	-1 %	2 %	-3 %	0 %
		0.2	-3 %	-4 %	1 %	0 %	3 %	3 %	0 %

TIR-linssien päällyspintojen simulointitulokset





Heijastajien geometriamuutosten simulointitulokset

Heijastajien geometriamuutosten simulointitulokset										
		Piikkiarvo		10% kulma		FWHM		Hyötysuhde		
Mitta	Muutos (mm)	Muutos ylöspäin	Muutos alaspäin	Muutos ylöspäin	Muutos alaspäin	Muutos ylöspäin	Muutos alaspäin	Muutos ylöspäin	Muutos alaspäin	
	1	-0.6	-11 %	-11 %	11 %	11 %	2 %	2 %	0 %	0 %
		-0.4	-3 %	-3 %	5 %	5 %	-4 %	-4 %	0 %	0 %
		-0.2	7 %	2 %	1 %	-2 %	-6 %	-6 %	0 %	0 %
		0	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
		0.2	4 %	2 %	0 %	-3 %	1 %	-3 %	0 %	0 %
		0.4	-1 %	-2 %	3 %	-2 %	5 %	3 %	0 %	0 %
		0.6	-3 %	-4 %	3 %	-1 %	9 %	4 %	0 %	0 %
	2	-0.6	3 %	0 %	0 %	-1 %	3 %	-2 %	0 %	0 %
		-0.4	1 %	4 %	0 %	0 %	2 %	-3 %	0 %	0 %
		-0.2	5 %	2 %	0 %	0 %	0 %	-3 %	0 %	0 %
		0	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
		0.2	6 %	2 %	-1 %	-2 %	-2 %	-6 %	0 %	0 %
		0.4	4 %	2 %	-1 %	-1 %	-3 %	-5 %	0 %	0 %
		0.6	8 %	4 %	-2 %	-2 %	-7 %	-7 %	0 %	0 %
	3	-0.6	-2 %	-5 %	3 %	3 %	0 %	-2 %	1 %	0 %
		-0.4	-3 %	-4 %	2 %	2 %	3 %	2 %	0 %	0 %
		-0.2	6 %	-2 %	1 %	0 %	1 %	-7 %	0 %	0 %
		0	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
		0.2	5 %	-2 %	0 %	-1 %	3 %	-2 %	0 %	0 %
		0.4	3 %	-1 %	-1 %	-2 %	4 %	-1 %	0 %	0 %
		0.6	12 %	0 %	-1 %	-4 %	4 %	-7 %	0 %	0 %
	4	0.6	0 %	0 %	1 %	1 %	1 %	1 %	0 %	0 %
		0.4	-1 %	-1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
		0.2	1 %	1 %	1 %	1 %	2 %	2 %	0 %	0 %
		0	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Ledin paikoitus heijastajassa horisontaali tasossa										
Taulukossa ovat maksimi muutosprosentit optisissa mitoissa alas ja ylöspäin, verrattuna suunnitellussa mitassa olevan heijastajan optisiin mittoihin. Molemmista simulaatioista laskettiin muutosprosentit, ja tässä taulukossa on suurimmat muutokset. Yli viiden prosentin muutokset on värjätty punaisella. Toisessa heijastajassa ei mittaa 1. pystynyt muuttamaan yli 0.2mm pienemmäksi, eikä lediä voinut paikoittaa väärin horisontaali tasossa.										